

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**  
Institut environmentálního inženýrství

**MOŽNOSTI ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY  
NAKLÁDÁNÍ S ČISTÍRENCKÝMI KALY V  
KRAVAŘÍCH**

bakalářská práce

**Autor:**

**Zuzana Wranová**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Lenka Urbancová, Ph.D.**

Ostrava 2015

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**

Institute of environmental engineering

**POSSIBILITIES OF SOLUTION FOR DEALING  
WITH SEWAGE SLUDGES IN KRAVAŘE**

Bachelor's thesis

**Author:**

**Zuzana Wranová**

**Supervisor:**

**Ing. Lenka Urbancová, Ph.D.**

2015

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Zuzana Wranová**

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904R005 Environmentální inženýrství

Téma:

**Možnosti řešení problematiky nakládání s čistírenskými kaly v  
Kravařích**  
Possibilities of solution for dealing with sewage sludges in Kravaře

Zásady pro vypracování:

1. Rešeršní zpracování legislativy, problematiky nakládání s čistírenskými kaly a způsoby jejich využití.
2. Popis technologie a zpracování kalů na ČOV ve městě Kravaře.
3. Zhodnocení parametrů kalů a technologií ve vztahu k jejich dalšímu následnému využití.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. RACLAVSKÁ, H. Technologie zpracování a využití kalů z ČOV. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1600-5.
2. LYČKOVÁ, B. FEČKO, P. KUČEROVÁ, R. Zpracování kalů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1921-1.
3. KYNCL, M. Technologie zpracování a využití vodárenských kalů : monografie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1604-3.
4. VÝZKUMNÝ ÚSTAV ROSTLINNÉ VÝROBY. Sborník přednášek z odborného semináře Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2000. ISBN 80-238-5333-3.
5. HÝBLEROVÁ, K., FILIP, J., LOŠÁK, T. Aplikace čistírenských kalů do půdy. Disertační práce. Brno: MZLU v Brně, 2005. 191 s.
6. RYANT, P., HLUŠEK, J. The risk of using fermented biowaste for the fertilisation of haylage oats. Polish Journal of Chemical Technology. 2005. sv. 7, č. 1, s. 63-66. ISSN 1509-8117.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Urbancová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015

  
doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. dubna 2015



.....  
Zuzana Wranová

**Místopřísazné prohlášení**

Místopřísazně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě dne 30. dubna 2015



.....  
Zuzana Wranová

## ANOTACE

Předkládaná bakalářská práce pojednává o čistírenských kalech vznikajících na čistírně odpadních vod v Kravařích (Moravskoslezský kraj). Cílem práce je seznámení s možnostmi nakládání s čistírenskými kaly a zhodnocení parametrů kalů a technologií ve vztahu k jejich dalšímu využití. První část práce je rešeršního charakteru a pojednává o nakládání s čistírenskými kaly, v druhé části byly hodnoceny data ze vzorku odvodněného kalu, na kterém byl prováděn chemický a mikrobiologický rozbor. Výsledky vzorku byly hodnoceny a porovnány podle platné legislativy České republiky. Z výsledků vyplývá, že prezentovaný vzorek kalu vyhověl limitům a kaly z čistírny odpadních vod v Kravařích by mohly být po dalším zpracování využity například v zemědělství.

*Klíčová slova: čistírenské kaly, kalové hospodářství, nakládání s kaly, likvidace kalů, těžké kovy, zemědělství*

## SUMMARY

The presented bachelor thesis is concerned with the sewage sludge produced at wastewater treatment plant in Kravaře (Moravian-Silesian region). The aim is to familiarize the reader with the possibilities of dealing with sewage sludge and to evaluate parameters of sludge and technology in relation to their further use. The first part of the thesis is based on literature research and discusses the sewage sludge, the second part examines the data from a sample of dewatered sludge, which was analyzed by chemical and microbiological analysis. The sample was evaluated according to the valid legislation of the Czech Republic. Based on the observed data, presented sample complies with the limits and sludge from the wastewater treatment plant in Kravaře can be used for further processing, for example in agriculture.

*Keywords: sewage sludge, sewage sludge management, sludge treatment, disposal of sewage sludge, heavy metals, agriculture*

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Urbancové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a připomínky při zpracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala pracovníkům čistírny odpadních vod v Kravařích za vstřícné jednání a poskytnutí informací a dokumentů. Závěrem bych ráda poděkovala rodičům a přátelům za podporu během studia.

V Ostravě dne 30. dubna 2015



.....  
Zuzana Wranová



## **OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1 KALY Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH KOMUNÁLNÍCH VOD .....</b>	<b>2</b>
1.1 Složení kalu.....	2
1.2 Druhy kalu.....	2
1.3 Stabilizace a hygienizace kalu .....	3
<b>2 NAKLÁDÁNÍ S KALY .....</b>	<b>4</b>
2.1 Využití čistírenských kalů v zemědělství.....	4
2.2 Termické zpracování čistírenských kalů (zplyňování nebo pyrolýza).....	5
2.2.1 Pyrolýza .....	6
2.2.2 Spalování .....	6
2.3 Uložení na skládku.....	6
2.4 Ostatní využití čistírenských kalů .....	7
2.4.1 Použití zpracovaných kalů ve stavebnictví .....	7
2.4.2 Využití fosforu z čistírenských kalů .....	7
2.4.3 Využití kovů vzácných zemin z čistírenských kalů.....	8
<b>3 SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA .....</b>	<b>9</b>
<b>4 ZHODNOCENÍ VYBRANÝCH UKAZATELŮ DLE VYHLÁŠKY Č. 382/2001 SB. V PLATNÉM ZNĚNÍ .....</b>	<b>12</b>
4.1.1 Kadmium .....	13
4.1.2 Chrom .....	13
4.1.3 Rtuť .....	14
4.1.4 Arsen.....	15
4.1.5 Olovo .....	15
4.1.6 Nikl .....	15
4.1.7 Měď.....	16
4.1.8 Zinek .....	16
<b>5 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD KRAVAŘE.....</b>	<b>17</b>
5.1 Kravaře.....	17
5.2 Použitá metodika.....	18
5.3 Čistírna odpadních vod v Kravařích .....	18
5.3.1 Popis technologie a zpracování kalů na ČOV .....	20

5.3.2	Zahušťování kalu .....	21
5.3.3	Odvodnění kalu.....	21
<b>6</b>	<b>ZHODNOCENÍ PARAMETRŮ KALŮ A TECHNOLOGIÍ VE VZTAHU K JEJICH DALŠÍMU NÁSLEDNÉMU VYUŽITÍ.....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>SHRNUTÍ .....</b>	<b>29</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>31</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>32</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>37</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>39</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

**AOX** – adsorbované organicky vázané halogeny

**As** – arsen

**Cd** – kadmium

**Co** - kobalt

**Cr** – chrom

**Cu** - měď

**ČOV** – čistírna odpadních vod

**EOX** – extrahovatelné organicky vázané halogeny

**Fe** – železo

**Hg** – rtuť

**KTJ** – kolonie tvořící jednotky

**LH** – kat.I (resp. LH – kat.II) – limitní hodnota dle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb.  
v platném znění

**Mn** – mangan

**Mo** - molybden

**Ni** - nikl

**MŽP** – Ministerstvo životního prostředí

**PAU** – polycyklické aromatické uhlovodíky

**Pb** - olovo

**PCB** – polychlorované bifenylly – suma 6 kongenerů PSB – K28, K52, K101, K138, K153  
a K180

**PCCD/F** - dioxiny

**Zn** - zinek

## ÚVOD

V dnešní moderní a pokrokové době vzniká stále více odpadů. S jejich neustále přibývajícím množstvím se snažíme nalézt řešení jak je dále vhodně využívat. Z uvedeného důvodu se hledá možnost dalšího využití, aby odpady nemusely končit jen na skládce a být problémem pro další generace. Proto se snažíme najít vhodné využití i pro čistírenské kaly.

Kal je považován za odpad, který vzniká při čištění odpadních vod. Je nežádoucím produktem, jehož množství neustále roste. Tento nárůst je především způsoben čím dál většími nároky na čištění vod (platí zde přímá úměra – zvyšováním technologie aplikované na čištění vod se zvýší produkce čistírenského kalu), dále evropskou legislativou, kdy každá obec nad 2000 obyvatel musela zřídit čistírny odpadních vod a v neposlední řadě také neustále se rozvíjející průmysl[1][2].

V rámci bakalářské práce jsou popsány jednotlivé metody využívání kalů. Nakládání s kaly se musí podrobit nejen legislativě, ale také vysokým morálním předpokladům. Mezi lidmi stále koluje mínění, že používáním čistírenských kalů v zemědělství či pro energetické účely se vpravuje do životního prostředí velké množství těžkých kovů.

Pro kaly proto by mělo být nalezeno využití, které je udržitelné, nemá nepříznivé dopady na životní prostředí a lidské zdraví a je ekonomicky nenáročné. Je obecně známo, že polovina finančních výdajů čistírny jde na odpadové hospodářství[3].

Bakalářská práce se zabývá i zahušťováním a odvodňováním kalů, tedy úpravou kalů probíhající konkrétně na čistírně odpadních vod Kravaře. Na této čistírně odpadních vod neprobíhá stabilizace ani hygienizace kalu, přesto je o tom v práci zmínka, protože bez tohoto kroku by kal nebyl použitelný v dnes jedné z nejpoužívanějších sfér – zemědělství.

Cílem práce je seznámení se s možnostmi nakládání s čistírenskými kaly a zhodnocení a popis parametrů kalů ve vztahu k jejich dalšímu využití na konkrétní čistírně odpadních vod v Kravařích. Cílem práce je také najít vhodné využití pro kaly, které vznikají na čistírně odpadních vod v Kravařích.

# 1 KALY Z ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH KOMUNÁLNÍCH VOD

Kal z čistíren odpadních vod je směs vody a odpadních látek a je hlavním odpadním produktem, který vzniká při čištění odpadních vod. Představuje přibližně 1 – 2 % objemu čistěných vod, ve kterém je zkoncentrováno 50 – 80 % původního znečištění. Odpadní voda přitékající na čistírnu odpadních vod je během procesu čištěna a při odtoku z ČOV je obsah znečišťujících a nežádoucích látek podstatně snížen. Nežádoucí látky jsou koncentrovány do vedlejšího produktu – kalu[1][3].

V České republice byl zaznamenán nárůst produkce kalu, v závislosti na směrnici Rady 91/271/EHS. Podle této směrnice musela každá obec nad 2000 obyvatel zajistit čištění odpadních vod před jejich vypouštěním[2].

## 1.1 Složení kalu

Čistírenský kal je heterogenní směs pevných látek a suspendovaných anorganických a organických látek. Složení kalu je specifické a odvíjí se od charakteru a původu odpadní vody a zvolené technologie čištění.

Kal se skládá z pěti hlavních skupin:

- Netoxické organické látky (cukry, tuky, bílkoviny, vosky, huminové látky) a dále sloučeniny dusíku a fosforu,
- toxické látky (toxické kovy – Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As) a dále PCB, PAU, PCCD/F, EOX, uhlovodíky C10 - C40, pesticidy, alkylsulfofenoly, polyfenoly,
- mikroorganismy (patogenní a jiné),
- anorganické sloučeniny hliníku, vápníku, křemíku a hořčíku (minerály – křemen, živce, karbonáty, vivianit, Fe - oxidy),
- voda[1].

## 1.2 Druhy kalu

Při procesu čištění odpadních vod vznikají různé druhy čistírenských kalů. Nejdříve vzniká při mechanickém čištění primární kal, který je usazován v usazovacích nádržích a je dán složením přitékající odpadní vody. Dále vzniká kal sekundární neboli přebytečný

aktivovaný kal, který vzniká při biologickém čištění a jeho složení je ovlivněno složením odpadní vody a technologií čištění. Smícháním primárního a přebytečného kalu vzniká kal smíšený. Kal, který byl odstraněn z odpadní vody a ještě nebyl stabilizován, se nazývá surový kal[1][3].

### **1.3 Stabilizace a hygienizace kalu**

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech definuje surový kal jako kal, který obsahuje 70 % organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních organismů je klasifikován jako nebezpečný odpad. Z tohoto důvodu musí být aplikována taková technologie úpravy kalů, jež z nebezpečného odpadu udělá stabilizovaný materiál a díky tomu může být využit dále, například v zemědělství nebo v kompostárenství.

Za stabilizovaný kal se pokládá takový, který nezpůsobuje žádné škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže (nepříjemnosti) při zacházení s ním. Z technologického hlediska je stabilizovaný kal takový, který nepodléhá dalšímu biologickému rozkladu.

Pojmy stabilizace a hygienizace kalu se od sebe liší. Stabilizovaný kal prošel takovou úpravou, že množství rozložitelných organických látek v celkovém objemu kalu a biologická aktivita kalu je snížena na takovou hodnotu, že již nepodléhá spontánnímu biologickému rozkladu. Hygienizovaný kal je kal, který prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních organismů byly sníženy na požadovanou hodnotu. Stabilizace a hygienizace může, ale nemusí probíhat současně.

Nejznámější proces stabilizace z metod biologických je anaerobní stabilizace ve vyhnívacích nádržích, z metod chemických alkalizace vápnem, z metod fyzikálních pasterizace.

Nejrozšířenější metodou zpracování kalů je anaerobní stabilizace kalu. Během procesu dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek. Výsledkem stabilizace je pokles organických látek a vznik energeticky využitelného bioplynu[3][4].

## 2 NAKLÁDÁNÍ S KALY

Nakládání a zpracování kalů závisí na místních podmínkách dané lokality, na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a na možnostech konečné likvidace[3].

V tabulce 1 lze vidět kolik tun sušiny čistírenských kalů bylo za minulé roky vyprodukováno v České republice. Největší podíl čistírenských kalů připadá na přímou aplikaci a rekultivaci a kompostování.

Tabulka 1: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění[5]

v t sušiny						Tonnes of dry matter
Rok	Produkce kalů celkem	Způsob zneškodnění kalů				
		přímá aplikace a rekultivace	kompostování	skládání	spalování	jinak
Year	Sludge production, total	Direct application and land reclamation	Composting	Landfilling	Incineration	Other method
2005	171 888	34 467	88 820	12 027	20	36 554
2006	175 471	48 304	89 932	13 979	27	23 229
2007	172 303	55 349	80 393	8 536	47	27 978
2008	175 708	46 776	78 289	11 986	712	37 945
2009	168 164	42 442	80 727	5 931	2 179	36 885
2010	170 689	60 639	45 528	6 177	3 336	55 009
2011	163 818	61 750	45 985	9 527	3 538	43 018
2012	168 190	51 912	53 222	9 340	3 528	50 188
2013	154 274	54 713	50 384	7 123	3 232	38 822

### 2.1 Využití čistírenských kalů v zemědělství

Použití kalu v zemědělství je zatím nejrozšířenější způsob využití. Čistírenský kal se může využívat při rekultivacích, přímou aplikací na půdu nebo v kompostárenství.

Čistírenské kaly jsou vhodné pro zemědělskou půdu díky obsahu organické hmoty, přítomnosti makroprvků (především N a P), obsahu stopových prvků a biologicky aktivních látek. Tyto prvky mohou zlepšovat fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půd. Limitujícím faktorem je výskyt cizorodých látek a patogenních mikroorganismů v kalech. Z cizorodých látek jsou to nejčastěji těžké kovy, organické chlorované látky (např. PCB a dioxiny), polycyklické aromatické uhlovodíky a dále organické sloučeniny,

jako jsou farmaceutika, endokrinní disruptory, chemikálie pro domácnost a další[6]. Obsah živin i cizorodých látek v čistírenských kalech je značně variabilní mezi jednotlivými čistírnami[7].

Vhodný typ hnojiva pro zemědělskou půdu tak představují stabilizované odvodněné kaly. Při pěstování plodin pro lidskou spotřebu či výrobu krmiv, se klade důraz na biologickou a chemickou bezpečnost kalu. Fyzické požadavky hrají významnější roli u kalu sloužícímu k rekultivaci půd. Nicméně, v obou případech se nesmí do půdy nebo do podzemní vody dostat nekontrolované množství potencionálně škodlivých chemických látek. Těžké kovy, fenolické sloučeniny a polycyklické aromatické uhlovodíky mohou způsobit drastické změny flóry a fauny, které mohou vést ke snížení půdní úrodnosti a dalších parametrů[8].

Využití kalů v zemědělství čelí technickému problému, jelikož kal se vyrábí po celý rok, zatímco aplikace na půdu se provádí jednou nebo dvakrát do roka[9]. Řešením může být konstrukce zařízení, kde může být kal určitou dobu uskladněn, v ideálním případě zároveň kompostován s jinými organickými odpady. Spolukompostování kalů vede ke zlepšení kvality a řeší další problémy – vysoký obsah vody, kontaminace patogenními mikroorganismy a v některých případech nedostatek stability[10].

Kompostováním kalů spolu s biomasou může být snížena koncentrace těžkých kovů. Čistírenské kaly mají nízký poměr C:N (5 - 10:1). Smícháním s biologicky rozložitelným odpadem, který je bohatý na uhlík, se zlepší jeho analyzovaný poměr. Proces kompostování začíná při poměru C:N 20 až 30:1, což je optimální poměr. Dalším pozitivním aspektem je minimalizace obsahu vlhkosti kalu ze 70 – 90 % na 50 – 60 % k udržení optimálního obsahu kyslíku (15 – 20 %)[11].

Použitím čistírenských kalů v zemědělství se řídí vyhláška č. 382/2001 Sb. v platném znění, která zpřísňuje požadavky směrnice Rady č. 86/278/EHS, která je pro nás také platná.

## **2.2 Termické zpracování čistírenských kalů (zplyňování nebo pyrolýza)**

Hlavní přednosti termického zpracování kalů je objemová a hmotnostní redukce, tepelné zničení toxických organických nečistot a možné využití energie. Existuje několik



tepelných procesů – kvašení, pyrolýza, zplyňování, spalování, spoluspalování. Z těchto technologií jsou poměrně složité a nákladné technologie pyrolýza a zplyňování[11].

### **2.2.1 Pyrolýza**

Pyrolýza je proces spalování kalů v podmínkách s omezeným přístupem nebo nedostatkem vzduchu. Tímto vzniklý materiál může být dále využit k výrobě absorpčního materiálu. Další produkt tohoto procesu je pyrolýzní kapalina, nazývána taky bio-olej nebo pyrolýzní olej, který může být využit jako palivo[8].

### **2.2.2 Spalování**

Spalování čistírenských kalů v sobě skrývá několik výhod. Kal má po spálení několikanásobně nižší objem a výhřevnost je téměř stejná jako u hnědého uhlí, spalování tedy nabízí možnost energetického využití; navíc ničí toxické organické sloučeniny a minimalizuje vznik zápachu.

Spalování stále nepředstavuje úplnou metodu odstranění čistírenských kalů, přibližně 30 % pevných látek zůstane v podobě popelu. Popel většinou zůstane na skládkách a v některých případech je považován za vysoce toxický. Velký problém také představují škodlivé plynné emise, na jejich odstranění jsou potřeba nákladné zařízení[9].

## **2.3 Uložení na skládku**

Skládkování kalu je povoleno jen v případě, že kal prošel úpravou, tzv. stabilizací. Stabilizovaný kal je takový, který nezpůsobuje žádné škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže při zacházení s ním. Dále nesmí docházet k dalšímu biologickému rozkladu[12]. Přesto může likvidace kalů na skládce vytvářet škodlivé emise (např. průsaková voda a skládkový plyn), které mohou kontaminovat vodu, ovzduší nebo půdu[13].

## **2.4 Ostatní využití čistírenských kalů**

### **2.4.1 Použití zpracovaných kalů ve stavebnictví**

Ve stavebnictví se využívá popel, který zůstane po spálení čistírenských kalů. Přidáním drcené žuly se mohou vytvářet odolné cihly.

Kal se využívá jako přísada při výrobě cementu. Tento proces imobilizuje nečistoty obsažené v čistírenském kalu, které mohou být škodlivé pro životní prostředí. Kromě toho cementové materiály vytvoří konkrétní podobu a tvar.

Další proces, jehož účel je čistírenský kal zpevnit, se nazývá vitrifikace. Tento proces probíhá za velmi vysokých teplot (1000 – 1600 °C) s přidáním oxidu křemičitého. Tyto materiály se poté vyznačují velkou stabilizací kontaminantů, jako jsou těžké kovy, které jsou v této formě nerozpustné ve vodě. Vzhledem k vysoké teplotě zpracování materiálu, toxické organické sloučeniny, jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, jsou nejčastěji oxidovány na anorganické sloučeniny a nepředstavují tak nebezpečí pro životní prostředí. Nicméně, tento proces je velmi nákladný vzhledem k velké energetické náročnosti[8].

### **2.4.2 Využití fosforu z čistírenských kalů**

Fosfor je jedenáctý nejběžnější prvek v prostředí, ale jeho zdroje mohou být vyčerpány. Odhaduje se, že tržní ceny fosforu začnou růst v roce 2034 a aktuální světové zásoby mohou být vyčerpány do padesáti až sto let. Čistírny odpadních vod zahrnují technologie na využití fosforu nebo poskytují spálený materiál, jelikož je to nejčastější forma, kdy je fosfor z kalu přijímán.

Nejjednodušší metodou využití fosforu z čistírenských kalů je použití sušené formy čistírenských kalů jako hnojivo. Nevýhodou je možnost zavedení těžkých kovů a dalších toxických látek adsorbovaných na povrchu popela do životního prostředí.

Další způsob je navrhnutí procesu, který bude spalovat chloridy: sodíku, draslíku, hořčíku a vápníku při teplotě 900 až 1100 °C. Tento proces umožňuje fosforu zpracovávat se do formy, která je přijatelná pro další organismy. Zároveň mohou být uvolněny těžké kovy kontaminující životní prostředí[8].

### **2.4.3 Využití kovů vzácných zemin z čistírenských kalů**

Kovy vzácných zemin mohou být získané při spalování čistírenských kalů. Tento proces se provádí v pecích (př. plazmatické) za oxidačních nebo redukčních podmínek. Prvky jako Ag, Te, Tl, Bi, Sb, In, Ga, Sn, Ge nebo Pb se špatně šíří v zemské kůře, ale jsou často přítomny v čistírenských kalech, proto může být tento proces populární v budoucnu[8].

### 3 SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA

Vznik a nakládání s kalem je ošetřeno platnou legislativou ČR v zákoně o odpadech, ale i právními předpisy vodního hospodářství, ovzduší a dalšími vyhláškami týkající se odpadového hospodářství.

**Zákon 185/2001 Sb.**, o odpadech v §32 považuje za:

a) kal

1. kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody a odpadní vody z domácností,

2. kal ze septiků a jiných podobných zařízení,

3. kal z čistíren odpadních vod výše neuvedených,

b) upravený kal – kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalech, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací,

c) použití kalu – zapracováním kalu do půdy,

d) program použití kalů – dokumentace zpracovaná v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem.

Dále jsou v §33 zákona o odpadech upraveny povinnosti při používání kalů[14].

Nejnovější schválená novela o odpadech je zákon č. 184/2014 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon vyšel ve Sbírce zákonů dne 29. srpna 2014[15].

**Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb.**, kterou se stanoví Katalog odpadů, ve znění vyhlášky č. 374/2008 Sb., jsou kaly dle přílohy č. 1 uvedené pod číslem 19 08 Odpady z čistíren odpadních vod jinde neuvedené, dále v podskupině 19 08 05 Kaly z čištění komunálních odpadních vod[16].

**Směrnice Rady 86/278/EHS** z 12. 6. 1986 na ochranu životního prostředí, zvláště půdy, při využívání kalů v zemědělství je závazná pro všechny členské země Evropské unie, s tím, že každá členská země může vydat přísnější opatření, než jsou dána směrnicí rady. Cílem této směrnice je regulovat používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství tak, aby se zabránilo škodlivým účinkům na půdu, rostliny, zvířata a

člověka, a současně podpořit správné používání kalů z čistíren odpadních vod. Směrnice stanovuje závazné mezní hodnoty pro některé těžké kovy v půdě, které mohou být toxické pro rostliny i člověka kvůli své přítomnosti v zemědělských plodinách[17].

U této směrnice je navrhována změna, která se bude týkat zpřísnění požadavku na ochranu zdraví a životního prostředí. Doposud byl vydán pracovní dokument pro kaly, 3. návrh, ENV.E3/LM, Brusel 27. 4. 2000. Směrnice by měla navíc zahrnovat využívání čistírenských kalů v lesnictví a na sanaci půdy. Předpokládá se úprava definice čistírenského kalu a rozšíření možnosti využívání kalů nejen z čistíren komunálních odpadních vod, ale i z čistíren odpadních vod v některých odvětvích průmyslu, zejména potravinářského. Měly by být zvýšeny požadavky na předběžnou úpravu kalů (chemickou, biologickou nebo tepelnou podle specifiky použití), a zavedeny přísnější limity pro obsah těžkých kovů a rozšířen jejich seznam (kromě kadmia, mědi, niklu, olova, zinku a rtuti by měl být limitován i obsah chromu. Navíc by měly být zavedeny mezní hodnoty pro obsah dioxinů a určitých organických sloučenin v těchto kalech[18].

**Vyhláška č. 27/2015 Sb.**, kterou se mění vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. Tato vyhláška vešla v platnost 6. února 2015[19]. Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologickými rozložitelnými odpady). Tato vyhláška upravuje podrobnosti nakládání s biologicky rozložitelnými odpady („dále jen bioodpady“). V příloze č. 1 této vyhlášky jsou pod využitelné bioodpady zařazeny i Kaly z čištění komunálních odpadních vod pod číslem z Katalogu odpadů 19 08 05[20].

Vznik a nakládání s kaly se musí řídit **zákonem č. 254/2001 Sb.**, o vodách a o změně některých zákonů, jelikož čistírna odpadních vod, na které čistírenský kal vzniká, spadá do kategorie vodního díla[21]. Nejnovější schválená novela vodního zákona je zákon č. 150/2010 Sb., kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Tento zákon má účinnost od 1. srpna 2010[22].

**Zákon č. 201/2012 Sb.**, o ochraně ovzduší. Tímto zákonem se musíme řídit při spalování kalů[23].

**Vyhláška č. 382/2001 Sb.**, o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (ve znění pozdějších novel). Nejnovější novela je vyhláška č. 504/2004 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb. Tato vyhláška stanovuje

podmínky použití upravených čistírenských kalů na zemědělskou půdu a zároveň určuje limitní hodnoty rizikových látek, které se v nich mohou vyskytnout. Obsahuje také přípustné množství mikroorganismů v kalech, mezní hodnoty koncentrací rizikových prvků v půdě, při jejichž překročení by mohlo dojít k poškození funkce půdy a složek životního prostředí a postupy odběru vzorků kalů a půdy a metody analýzy kalů a půdy a obsah programu použití kalů na zemědělskou půdu[24].

Vedle této vyhlášky stále platí Směrnice Rady 86/278/EHS. Vyhláška č. 382/2001 Sb. je ale v limitních hodnotách přísnější (viz tabulka 2).

*Tabulka 2: Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg/kg sušiny)*

Riziková látka	382/2001 Sb.	86/278/EHS
As	30	-
Cd	5	20 - 40
Cr	200	-
Cu	500	1000 - 1750
Hg	4	16 - 25
Ni	100	300 - 400
Pb	200	750 - 1200
Zn	2500	2500 - 4000
AOX	500	-
PCB (suma 6 kongenerů – 28+52+101+138+153+180)	0,6	-

## 4 ZHODNOCENÍ VYBRANÝCH UKAZATELŮ DLE VYHLÁŠKY Č. 382/2001 SB. V PLATNÉM ZNĚNÍ

Aplikace čistírenských kalů na půdu nabízí nejenom pohodlnou likvidaci odpadu, ale má na ni také příznivý aspekt. Do půdy se dostanou cenné živiny a organická hmota, tudíž se čistírenské kaly tváří jako ideální hnojivo. Negativní aspekt čistírenských kalů spočívá v obsahu těžkých a toxických kovů. Tyto kovy jsou proto sledovány vyhláškou MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění.

Nejsledovanější rizikové prvky v čistírenských kalech jsou As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn. Podle povahy sloučenin patří k toxickým popř. karcinogenním látkám, jejichž vliv se zpravidla projevuje až v delším časovém období a řadí se ke kumulativním prvkům.

Největší nebezpečí představuje poločas rozpadu, který znesnadňuje proces detoxikace těchto látek z půdy. V dlouhodobém měřítku proto patří tato skupina sloučenin mezi nejvíce nebezpečné.

Mezi hlavní faktory ovlivňující mobilitu rizikových prvků v půdě a v kalech se řadí hodnota pH, oxidačně-redukční podmínky, obsah a kvalita organické hmoty a jílovitých materiálů a také délka skladování čistírenských kalů[25].

Schopnost absorbovat těžké kovy z půdy hnojené čistírenskými kaly se u rostlin výrazně liší[26]. U některých kovů z čistírenských kalů se prokázalo, že jejich nabalování na kořeny rostlin může výrazně omezit jejich přenos do dalších částí rostliny. Některé kovy jako je chrom a olovo, mají velmi nízkou rozpustnost v půdách a vykazují vlastnosti silné bariéry. I když se hromadí u kořene, nejsou obvykle podstatně přemístěny do listů, plodů a semen. Na základě důkazů z mnoha experimentů, mohou být kovy seřazeny v relativním měřítku podle síly bariéry: Pb, Cr, Hg>Cu>Ni, Zn, Cd>Mo[27].

Vyhláška č. 382/2001 Sb., v platném znění obsahuje i mezní hodnoty koncentrací vybraných těžkých prvků v půdě.

*Tabulka 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků v půdě (ukazatele pro hodnocení půd)[24]*

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Běžné půdy	20	0,5	90	60	0,3	50	60	120
Písky, hlinité písky, štěrkopísky	15	0,4	55	45	0,3	45	55	105

V tabulce 3 jsou vymezeny hodnoty koncentrací vybraných prvků v půdě, které vymezují maximální hodnoty, při jejichž překročení by mohlo dojít k poškozování funkcí půdy a složek životního prostředí[24].

Běžné půdy představují písčitohlinité, hlinité a jílovité půdy, které zaujímají převážnou část zemědělsky využívaných půd[24].

#### **4.1.1 Kadmium**

Běžný obsah kadmia v půdách ČR je 0,2 - 1,5 mg/kg (mimo zdroje kontaminace). V zemské kůře je to tedy poměrně vzácný prvek. Za posledních 150 let se ale obsah kadmia v půdách zvýšil o 27 - 55 %. Kadmium se nejvíce kumuluje ve vrstvě půdy 0 - 5 cm a s přibývajícím hloubkou koncentrace klesá[28].

Kadmium charakterizuje jeho rozpustnost. S klesající hodnotou pH silně stoupá rozpustnost Cd a jeho pohyblivost. Nejpohyblivější je při pH 4,5 - 5,5 a při pH 7,5 přestává být rozpustné. V zásaditých půdách je málo pohyblivý. Při zvýšení kyselosti, která může být způsobena kyselými dešti, může dojít ke zvýšení koncentrace kadmia ve vodě uvolněním ze sedimentů[28][29].

Za přítomnosti síranů dochází k vysrážení Cd, a tím ke snížení jeho rozpustnosti. Chloridové ionty zvyšují pohyblivost Cd v půdě.

Čistírenské kaly mají velký podíl na výskytu kadmia v půdě. Spalováním a aplikací na půdu se do životního prostředí dostanou jedny z hlavních antropogenních emisí kadmia. Kadmium se dokáže navázat na částice jílu a prachu. V této podobě může být deštěm i větrem zanesen do vodního prostředí nebo může být akumulován organismy. Pokud je akumulace organismy vysoká, dochází ke hromadění kadmia v potravních řetězcích. Velké množství kadmia v půdním roztoku může i nepříznivě ovlivňovat schopnost půdních organismů rozkládat organickou hmotu a polutanty[28].

Pro člověka je tento toxický prvek nebezpečný. Poškozuje ledviny, je teratogenní a podle klasifikace EPA je zařazen jako pravděpodobný lidský karcinogen[30].

#### **4.1.2 Chrom**

Chrom se v životním prostředí vyskytuje v oxidačním stupni tři a šest v důsledku lidské činnosti i přírodních procesů. Cr<sup>III</sup> se vyskytuje v prostředí přirozeně a představuje



důležitou živinu pro lidské tělo, jelikož napomáhá působení inzulínu v lidských tkáních, tak aby tělo mohlo zpracovat cukry, bílkoviny a tuky. Vdechování šestimocné formy chromu může způsobit alergické záchvaty u lidí citlivých na chrom nebo po delším působení i rakovinu plic[31].

Obsah chromu v půdách je od 5 - 120 mg/kg. V půdě se většina chromu nachází v málo pohyblivé formě kationtů  $\text{Cr}^{3+}$ , které se vážou na oxidy železa a hliníku. Většina chromu vyskytující se v půdě se snadno nerozpouští ve vodě a k půdě může silně přilnout. I přesto se ale může malé množství chromu dostat do podzemních vod[31].

Mobilita chromu v půdě závisí na půdní reakci, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílovitých minerálů a redox potenciálu půdy i typu půdy. Dobře rozpustný chrom je toxický pro rostliny i živočichy. Toxicitu chromanů v kontaminovaných půdách může výrazně snížit vápnění a hnojení fosforem a organickými látkami[28].

#### 4.1.3 Rtut'

V půdách se průměrný obsah rtuti pohybuje okolo 0,02 - 0,2 mg/kg. Negativní vliv rtuti v půdě může snížit zvýšení pH půdy zejména vápněním a zamezit výskytu redukčních podmínek v půdách[28].

Kontaminaci půd způsobují nejčastěji atmosférické imise, vzniklé z emisí v energetice při spalování fosilních paliv. Velké obsahy rtuti v půdách jsou také způsobeny mikrobiální činností v půdě[32].

Největší kontaminace rtuti je ve složkách půdy bohatých na organickou hmotu, jelikož rtuť se lehce váže na organické látky. Proto jsou nejvíce ohroženy svrchní horizonty lesních půd, kde je organické hmoty dostatek. Při humifikaci neboli při rozpadu organické hmoty může docházet i k pozvolnému uvolňování rtuti.

Oproti lesním půdám je v zemědělských půdách nízký obsah rtuti. V důsledku obhospodařování půd – orbě, je totiž půda provzdušňována a organická hmota se díky zvýšené oxidaci rozpadá. Rtuť je tak z organické hmoty uvolněna s rozpuštěnými sloučeninami uhlíku nebo se může v plynné formě vypařit do atmosféry[33].

#### **4.1.4 Arsen**

Průměrný obsah arsenu v půdách je 2 - 20 mg/kg. Zemědělské půdy jsou kontaminovány většinou popílkem a odsiřovacími produkty z kotelen, které byly do půdy aplikovány nebo se tam dostaly formou imisí[28]. Arsen má schopnost kumulovat se v sedimentech, proto může v půdě přetrvávat velice dlouhou dobu[34].

Arsen dokáže v nízkých koncentracích stimulovat růst rostliny, přestože nebyl nalezen důkaz, že by arsen byl pro rostliny esenciálním prvkem. Tolerance rostlin k arsenu záleží na druhu, existují rostliny, které nepřijímají arsen a další skupinou je akumulován. Akumulující rostliny ho ukládají v kořenech nebo v nadzemních částech[35].

#### **4.1.5 Olovo**

Olovo je v půdě málo pohyblivým prvkem. Je to způsobeno tím, že soli olova jsou většinou málo rozpustné a navíc je olovo dobře vázáno jílovými minerály a humusovými látkami. Sorpce olova jílovými minerály je menší než humusem. Proto se olovo hromadí nejvíce v humusovém horizontu[28].

Mezi významné antropogenní emise olova patří aplikace čistírenských kalů na půdu. V půdě se olovo vyskytuje ve svrchních vrstvách, kde se poutá na půdní částice. Mobilita olova do nižších vrstev se uskutečňuje, jen pokud je překročena pufrací schopnost půdy nebo v důsledku orby. Olovo nacházející se v půdě může být zdrojem expozice pro rostliny a zvířata a dále kontaminací surovin se dostává do potravin[36].

#### **4.1.6 Nikl**

Půda obsahuje obvykle okolo 40 mg/kg niklu, ale množství je významně ovlivňováno charakterem podložních hornin[37].

Nikl je toxický pro některé vodní organismy, proto je přípustná koncentrace ve vodárenských tocích přísněji limitována než v pitné vodě. Nikl je přijímán kořeny do těla rostlin, kde ho i akumulují. Zvýšením pH půdy se snižuje mobilita niklu a tím i příjem rostlinami. Rostliny obsahují okolo 0,4 – 4,0 mg/kg sušiny niklu. Fytotoxické koncentrace začínají od 0,5 – 2,0 mg/kg sušiny. Vysoký obsah niklu může také potlačit fotosyntézu a

transpiraci a omezit růst rostlin. Při zvýšených dávkách dusíku může docházet i ke zvyšování niklu v rostlinách[37][38].

#### **4.1.7 Měď**

Obsah mědi v půdě je v rozmezí 1 – 180 mg/kg. Výzkum orných půd na obsah mikroelementů ukázal, že většina půd ČR se vyznačuje středním obsahem mědi (83,3 %). Nízký obsah mědi je pouze v 5,0 % případů a vysoký v 11,7 %[39].

V rostlinách je měď málo pohyblivá a kromě negativních účinků, ovlivňuje rostliny i příznivě. Měď udržuje stabilitu chlorofylu v rostlině a tím kladně ovlivňuje fotosyntézu, dále zlepšuje příjem a metabolismus dusíku[40].

#### **4.1.8 Zinek**

Obsah zinku v půdách je okolo 17 – 125 mg/kg. Zinek se řadí mezi prvky s vyšší pohyblivostí v půdě, nejběžnější a nejpohyblivější formu tvoří  $Zn^{2+}$ . Mobilitu zinku ovlivňuje pH půd nebo také organická složka půd, ve které může být vázáno až 80 % z celkového zinku[41].

Zinek se většinou váže na částice v půdě a není rozpustný ve vodě, ale v závislosti na charakteristice půd může také částečně pronikat do podzemních vod. Živočichové pojidající zeminu mohou být zinkem snadno kontaminováni, a pokud jsou pozřeni dalšími živočichy, tak se i v jejich organismu zvýší hodnota zinku[42].

Zinek je pro rostliny v malém množství žádaným prvkem jelikož aktivuje enzymatické reakce a podílí se na tvorbě různých hormonů[40].

## 5 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD KRAVAŘE

### 5.1 Kravaře

Město Kravaře (viz obrázek 1) se nachází 13 km jižně od polských hranic a 9 km východně od města Opavy. Kravaře leží v Moravskoslezském kraji v údolní nivě řeky Opavy, v nadmořské výšce 237 m n. m.

Město je rozdělené na tři části - Kravaře, Kouty a Dvořísko. Počet obyvatel je 6800 a katastrální výměra je 1937 ha. Město je obcí s rozšířenou působností, do jejichž správního obvodu spadá devět dalších okolních obcí.

Mezi dominanty města Kravaře patří zámek Kravaře se zámeckým parkem a muzeem, dále kostel Sv. Bartoloměje, římskokatolická fara a radnice jako bývalý klášter.

Město Kravaře je bohaté i z pohledu přírody, jelikož disponuje přírodní rezervací Koutské a Zábřežské louky a národní přírodní památkou Odkryv v Kravařích[43].



Obrázek 1: Území města Kravaře (1:50 000) (zdroj: [www.maps.google.cz](http://www.maps.google.cz), 2015)

## 5.2 Použitá metodika

Bakalářská práce je především rešeršního typu. Práce je rozdělena na dvě části, rešeršní a praktickou. Rešeršní část pojednává o nakládání s čistírenskými kaly, legislativě související s kaly a zhodnocení vybraných těžkých prvků v půdě a kalech. Ke zpracování rešeršní části byly využity české i zahraniční knižní a internetové zdroje.

Praktická část se zabývá čistírnou odpadních vod Kravaře, kde stěžejní částí práce byl sběr dat a potřebných informací o této čistírně. Za účelem splnění cíle práce byla získána dokumentace o čistírně a rozborů čistírenského kalu, které posloužily k vyhodnocení vhodného využití pro kaly vznikající na ČOV Kravaře. Byly získány rozborů dvou vzorků odvodněného kalu, které byly odebrány Vladimírem Reichelem a analýzu provedla Laboratoř Morava s.r.o., zkušební laboratoř akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. Tyto vzorky byly porovnány s platnou legislativou České republiky a následně vyhodnoceny.

Informace a dokumenty k ČOV Kravaře a rozborů čistírenského kalu byly poskytnuty Městským úřadem v Kravařích, především panem Karlem Zeissem, který má na starost úsek ČOV a veřejnou kanalizaci.

## 5.3 Čistírna odpadních vod v Kravařích

Čistírna odpadních vod se nachází za městem Kravaře ve východní oblasti zvané Olšinky (viz obrázek 2). Na obrázku 3 lze vidět, že čistírna odpadních vod je dobře přístupná z hlavní cesty směrem na Hlučín, odbočením do poslední ulice vpravo u výjezdu z města.

Navrhovaná kapacita připojení je 7 500 ekvivalentních obyvatel (EO). ČOV je navržena jako mechanicko-biologická.

V prosinci 2008 začaly na ČOV natékat odpadní vody a zároveň začalo napojování kanalizačních přípojek domů na kanalizaci. Zkušební provoz ČOV byl zahájen v květnu 2009 a ukončen v říjnu 2010. Dne 1.11.2010 byla ČOV za rozhodnutí Městského úřadu Kravaře, odboru životního prostředí uvedena do trvalého provozu[44].



Obrázek 2: Čistírna odpadních vod Kravaře (foto: Wranová, 2015)



Obrázek 3: Čistírna odpadních vod Kravaře (červeně) (zdroj: www.seznam.cz, 2015)

### 5.3.1 Popis technologie a zpracování kalů na ČOV

Na ČOV v Kravařích probíhá proces zahušťování i odvodňování kalu. U obou procesů dochází ke snížení objemového množství kalu a ztrátě vody. Při zahušťování dochází ke zmenšení objemu kalu tím, že se z něj odstraní část volné vody. Optimální obsah sušiny kalu po zahuštění je okolo 5 – 6 %, kdy kal má ještě tekutou konzistenci a dá se dál čerpat k dalšímu zpracování. Při odvodňování dochází k další redukci kalu, kdy je množství odstraněné vody výrazně vyšší. Výsledkem je kal s obsahem sušiny okolo 20 – 50 %. Po odvodnění lze s kalem zacházet jako s materiálem pevné konzistence.

V objektu ČOV v Kravařích se nachází dvě kruhové železobetonové nádrže o průměru 19,2 m a hloubce 5,9 m (viz obrázek 4). Tyto nádrže jsou zapuštěny pod úroveň terénu a každá se skládá z nádrže aktivační a dosazovací. V těchto nádržích dochází za pomoci kyslíkových sond ve spojení s počítačem k tzv. aktivaci kalu za promíchávání a provzdušňování natékaných splašků. Současně s aktivačním čistícím procesem dochází i k biologickému odbourávání čpavkového dusíku, tzn. z vody je odstraněna většina dusíku ve formě  $N_2$  a  $NO_x$ . V nádržích dochází také k odbourávání fosforu za použití železitých nebo hlinitých solí, které jsou do nádrží automaticky dávkovány[44][45].



Obrázek 4: Železobetonové nádrže (foto: Wranová, 2015)



### 5.3.2 Zahušťování kalu

Z dosazovací nádrže je přebytečný kal čerpán čerpadly do kalojemu. Během roku 2014 se odčerpalo z první dosazovací nádrže do kalojemu  $17\,260,2\text{ m}^3$  přebytečného kalu a z druhé dosazovací nádrže do kalojemu  $17\,288,7\text{ m}^3$ . Celkem tedy  $34\,548,9\text{ m}^3/\text{rok}$  přebytečného kalu, tj.  $94,65\text{ m}^3/\text{den}$  o průměrné sušině vráceného kalu  $3,24\text{ kg/m}^3$  čili  $111\,938\text{ kg}$  nerozpuštěných látek.

V kalojemu je kal gravitačně zahušťován. Kal zde postupně klesá a usazuje se, dochází zde k tzv. sedimentaci. Na povrchu zůstává přebytečná kalová voda, která se odpustí a vrací se zpátky do procesu čištění. V roce 2014 se z kalojemů odpustilo  $26\,584,9\text{ m}^3$  odstáté kalové vody, čili průměrně  $72,8\text{ m}^3/\text{den}$ .

Z prvního kalojemu se kal přečerpává do druhého kalojemu, který slouží i pro uskladnění kalu. Z druhého kalojemu bylo za rok 2014 odčerpáno celkem  $7\,964\text{ m}^3$  zahuštěného kalu.

Zahuštěný kal se čerpadly čerpá na odstředivku. Sušina na vstupu k odstředivce byla za rok 2014 v průměru cca  $14\text{ kg/m}^3$ [44].

### 5.3.3 Odvodnění kalu

K procesu odvodnění dochází na odstředivce (viz obrázek 5). Odstředivka funguje na principu odstředivé síly, s jejíž pomocí dochází k oddělení pevných částic od kalové vody.



Obrázek 5: Odstředivka (foto: Wranová, 2015)



Kal je potrubím veden do otáčejícího se vnitřního bubnu. Zde je usměrněn k plášti vnějšího bubnu, na jehož povrchu se jsou usazovány těžší částice působením odstředivé síly. Pomocí šnekového dopravníku jsou posunovány do kuželové části bubnu, dále do výsypné části a poté ven z odstředivky (viz obrázek 6). Kontinuálně přiváděnou suspenzí je vytlačována odstředěná kapalina přes otvory v čele bubnu a poté potrubím ven z odstředivky. Za účelem zahuštění výsledného kalu a zlepšení koncentrace sušiny se do suspenze přidává práškový flokulant – 2 % roztok kationaktivního polyakrylamidu.



*Obrázek 6: Odstředivka (foto: Wranová, 2015)*

Odvodněné kaly končí v kontejnerech (viz obrázek 7 a 8) a poté jsou odváženy a likvidovány firmou Marius Pedersen. Během roku 2014 bylo z ČOV v Kravařích odvezeno 122 kusů kontejnerů (viz obrázek 9).



*Obrázek 7: Odvodněný kal (foto: Wranová, 2015)*

Společnost Marius Pedersen je původem dánskou společností, která se na našem trhu řadí mezi nejlepší v odpadovém hospodářství. Mimo jiné se ale zabývá i údržbou zeleně, komunikací a veřejného osvětlení[1][44].



*Obrázek 8: Odvodněný kal (foto: Wranová, 2015)*



*Obrázek 9: Odvodněný kal v kontejneru (foto: Wranová, 2015)*

## 6 ZHODNOCENÍ PARAMETRŮ KALŮ A TECHNOLOGIÍ VE VZTAHU K JEJICH DALŠÍMU NÁSLEDNÉMU VYUŽITÍ

Tato kapitola pojednává o parametrech kalů a srovnává je s limity podle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění. Aby mohl být kal použit na půdu, musí být nezávadný, tudíž musí vyhovět požadavkům této vyhlášky.

Pro účely této bakalářské práce byl vybrán rozbor vzorku odvodněného kalu z ČOV Kravaře, který byl odebrán dne 14. ledna 2015 (vzorek 1). Na vzorku 1 byla provedena analýza chemického a mikrobiologického rozboru. Rozbor provedla Laboratoř Morava s.r.o., zkušební laboratoř č. 1296 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Teplota vzduchu při odběru dosahovala 7,5 °C a bylo oblačno. Odběr byl proveden manuálně. Teplota kalu v době odběru byla 12,8 °C a odběr byl prováděn v hloubce 30 cm. Hodnota sušiny byla 21,2 %.

Analýzovaný vzorek 1 byl posuzován dle limitních požadavků vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění a byl hodnocen v těchto ukazatelích těžkých kovů: suma PCB, AOX, arsen, kadmium, rtuť, olovo, nikl, celkový chrom, měď a zinek (viz tabulka 4) a v mikrobiologické části rozboru byl vzorek testován na přítomnost bakterie salmonely, enterokoky a termotolerantní koliformní bakterie (viz tabulka 5)[44].

*Tabulka 4: Chemický rozbor vzorku 1[44]*

Ukazatel	Výsledek	Jednotka
suma PCB	0,017	mg/kg v sušině
AOX	90	mg/kg
Arsen	<1	mg/kg
Kadmium	0,44	mg/kg
Rtuť	0,75	mg/kg
Olovo	9,10	mg/kg
Nikl	31,20	mg/kg
Chrom celkový	15	mg/kg
Měď	67,80	mg/kg
Zinek	393	mg/kg

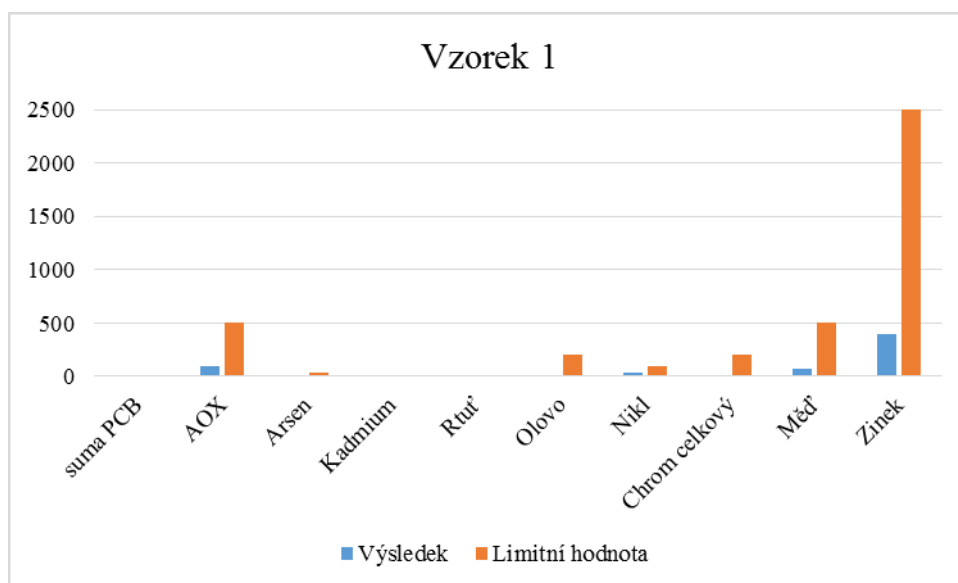
Tabulka 5: Mikrobiologický rozbor vzorku 1[44]

Ukazatel	Výsledek	Jednotka	LH - kat. I.	LH - kat. II.
Enterokoky	<50	KTJ/g sušiny	max. $1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$ - $1 \times 10^5$
Termotolerantní koliformní bakterie	<50	KTJ/g sušiny	max. $1 \times 10^3$	
Salmonella (l)	negativní	v 50 g		

Tabulka 6 ukazuje zhodnocení vybraných parametrů a výsledků s přiřazenými limitními hodnotami.

Tabulka 6: Chemický rozbor vzorku 2 s limitní hodnotou[44]

Ukazatel	Výsledek	Jednotka	Limitní hodnota
suma PCB	0,017	mg/kg v sušině	
AOX	90	mg/kg	500
Arsen	<1	mg/kg	30
Kadmium	0,44	mg/kg	5
Rtuť	0,75	mg/kg	4
Olovo	9,10	mg/kg	200
Nikl	31,20	mg/kg	100
Chrom celkový	15	mg/kg	200
Měď	67,80	mg/kg	500
Zinek	393	mg/kg	2 500



Graf 1: Graf výsledků a limitních hodnot vzorku 1 (zdroj: Wranová, 2015)

Dle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění, analyzovaný vzorek 1 ve stanovených ukazatelích vyhovuje limitním požadavkům na obsah těžkých kovů. Vyhovující vzorek potvrzuje i graf 1, který znázorňuje graf výsledků a limitních hodnot. V grafu lze vidět, že některé limitní hodnoty několikanásobně převyšují výsledky rozboru kalu. Hodnota zinku je 393 mg/kg a jeho limitní hodnota je 2500 mg/kg (viz tabulka 6), což znamená, že výsledek vzorku je nižší než limitní hodnota a splňuje tak požadavky vyhlášky. V tabulce 6 lze vidět, že nikl se blíží limitní hodnotě. Malý rozdíl výsledku a limitní hodnoty u niklu potvrzuje i graf 1.

Graf i tabulka potvrzuje vyhovující analyzovaný vzorek 1 dle vyhlášky č. 382/2001 Sb. v platném znění.

Pro potvrzení vyhovujících výsledků byl použit další rozbor vzorku. Další rozbor vzorku odvozeného kalu z ČOV Kravaře byl odebrán dne 25. srpna 2014 (vzorek 2). Na vzorku 2 byl prováděn chemický a mikrobiologický rozbor, který provedla Laboratoř Morava s.r.o., zkušební laboratoř č. 1266, akreditovaná ČIA[44].

Analyzovaný vzorek 2 byl posuzován dle limitních požadavků vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění.

Analyzovaný vzorek 2 byl také hodnocen v těchto ukazatelích těžkých kovů: suma PCB, AOX, arsen, kadmium, rtuť, olovo, nikl, celkový chrom, měď a zinek (viz tabulka 7) a v mikrobiologické části rozboru byl vzorek testován na přítomnost bakterie salmonely, enterokoky a termotolerantní koliformní bakterie (viz tabulka 8). Hodnota sušiny byla 15,4 %[44].

*Tabulka 7: Chemický rozbor vzorku 2[44]*

Ukazatel	Výsledek	Jednotka
suma PCB	0,01	mg/kg v sušině
AOX	180	mg/kg
Arsen	2	mg/kg
Kadmium	0,70	mg/kg
Rtuť	2,57	mg/kg
Olovo	21,70	mg/kg
Nikl	19,20	mg/kg
Chrom celkový	23,90	mg/kg
Měď	127	mg/kg
Zinek	695	mg/kg

Tabulka 8: Mikrobiologický rozbor vzorku 2[44]

Ukazatel	Výsledek	Jednotka	LH - kat. I.	LH - kat. II.
Enterokoky	<50	KTJ/g sušiny	max. $1 \times 10^3$	$1 \times 10^3$ - $1 \times 10^5$
Termotolerantní koliformní bakterie	$9,3 \times 10^5$	KTJ/g sušiny	max. $1 \times 10^3$	
Salmonella (l)	negativní	v 50 g		

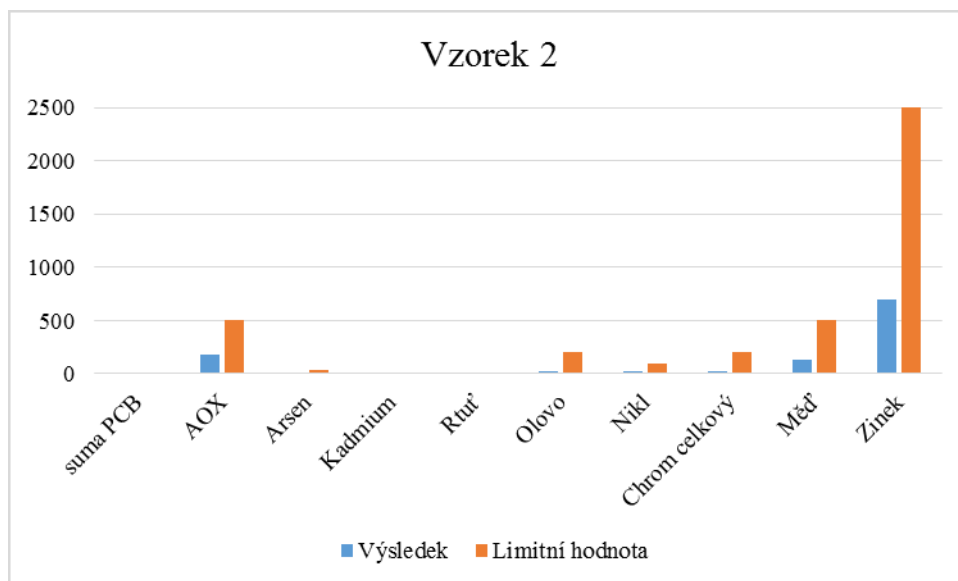
Pro zhodnocení vybraných parametrů a výsledků byly přiřazeny limitní hodnoty.

Tabulka 9: Chemický rozbor vzorku 2 s limitní hodnotou[44]

Ukazatel	Výsledek	Jednotka	Limitní hodnota
suma PCB	0,01	mg/kg v sušině	
AOX	180	mg/kg	500
Arsen	2	mg/kg	30
Kadmium	0,70	mg/kg	5
Rtuť	2,57	mg/kg	4
Olovo	21,70	mg/kg	200
Nikl	19,20	mg/kg	100
Chrom celkový	23,90	mg/kg	200
Měď	127	mg/kg	500
Zinek	695	mg/kg	2 500

Dle vyhlášky MŽP č. 382/2001 Sb. v platném znění, analyzovaný vzorek 2 ve stanovených ukazatelích vyhovuje limitním požadavkům na obsah těžkých kovů (viz tabulka 9). Vyhovující vzorek potvrzuje i graf 2, který znázorňuje graf výsledků a limitních hodnot.

V grafu lze vidět, že vzorek 2 splňuje limitní požadavky, některé hodnoty jsou několikanásobně nižší než přípustná hodnota. Hodnota zinku je 695 mg/kg a jeho limitní hodnota je 2500 mg/kg, což znamená, že hodnota zinku je pod limitem a splňuje tak požadavky vyhlášky. Měď má hodnotu 127 mg/kg a limitní hodnota je 500 mg/kg (viz tabulka 9). V tabulce 9 lze také vidět, že rtuť se blíží povolené limitní hodnotě. Má hodnotu 2,57 mg/kg a povolená limitní hodnota je 4 mg/kg.



Graf 2: Graf výsledků a limitních hodnot vzorku 2 (zdroj: Wranová, 2015)

Druhý vzorek potvrdil nezávadnost čistírenských kalů z ČOV Kravaře. Podle vyhlášky lze tyto čistírenské kaly využívat v zemědělství, díky dodržení stanovených limitů těžkých kovů. Dále je toto téma rozebráno ve shrnutí.

## 7 SHRnutí

Produkce i konečná likvidace kalu se ve světě významně liší. V zemích Evropské unie je velmi podstatný rozdíl v produkci kalu. Například Malta produkuje okolo 0,1 kg kalu na jednoho ekvivalentního obyvatele (EO) za rok, v porovnání s Rakouskem, které produkuje okolo 30,8 kg na EO za rok[46].

Pokud jde o konečnou likvidaci kalu, opakované použití kalů (včetně přímé aplikace a kompostování) je převládající volbou pro kalové hospodářství v EU-15 (členské státy, které se připojily k EU před rokem 2004), využívá takto 53 % vyprodukovaného kalu po spalování (21 % vyprodukovaného kalu). Na druhou stranu nejčastější způsob likvidace v EU-12 je stále skládkování. Nárůst množství kalů na skládkách se očekává do roku 2020 vzhledem k povinnosti stanovené ve směrnici 91/271/EHS. Mimo to, je ale Evropská unie na dobré cestě k znovuvyužití kalů[2][46]. V České republice v posledních letech stále více převládá přímá aplikace na půdu a kompostování[5].

V posledních letech také narůstá spalování kalů. Tato možnost je nejdražší a navíc zde existuje možnost znečištění ovzduší emisemi, na jejíž odstranění je potřeba nákladné zařízení. Tato metoda likvidace kalů se spíše využívá v oblastech s velkou zástavbou, kde není možnost zemědělského využití. Stále více spaloven také nabízí efektivní možnost spoluspalování s komunálním odpadem nebo biomasou[47].

Čistírenské kaly jsou díky svým vlastnostem a obsahu látek vhodné jako hnojivo na zemědělské půdy. Kaly obsahují množství cenných složek jako je organická hmota, dusík, fosfor a další živiny vhodné pro růst rostlin. Negativní stránku čistírenských kalů tvoří obsah těžkých kovů[48].

V půdách je obecně nejnebezpečnější rozšiřování rtuti. Jak bylo v předchozí kapitole vysvětleno, obsah rtuti se v zemědělských půdách dokáže snižovat orbou, která provzdušňuje půdu a rtuť je tak z organické hmoty mobilizována do atmosféry nebo jinam[33].

Velmi nebezpečná může být i bakterie Salmonely. Její přítomnost může lidskému organismu způsobit různá onemocnění. Nejzávažnější typ salmonelového onemocnění je břišní tyfus (střevní horečka), dále může způsobit známou bakteriální infekci salmonelózu nebo paratyfus[49].



Obecně bylo prokázáno, že přidání kalu na zemědělskou půdu zvyšuje růst a produkci zemědělských rostlin. V oblasti účinků čistírenských kalů na půdu a jejich obsahu těžkých prvků bylo provedeno mnoho výzkumů a experimentů.

Pan Epstein v roce 1975 provedl studii na stanovení účinků kalů aplikací do půdy na zadržování vody, hydraulickou vodivost a agregátní stabilitu. Studie prokázala, že surový stejně jako vyhnílý kal zvyšuje celkovou schopnost půdy zadržet vodu a přidáním kalu do půdy způsobil zvýšení hydraulické vodivosti půdy po 27 dnech inkubace[26].

V další studii v roce 2003 podle Bozkurta a Yarılgaca, byly zkoumány účinky čistírenských kalů a statkových hnojiv na jabloně rostoucí na vápenité půdě po dobu dvou let v průběhu podzimu. U čistírenských kalů byl zaznamenán větší výnos ovoce v porovnání se statkovými hnojivy. U stromů hnojených kaly byl navíc zaznamenán nárůst v obvodu stromu. Kaly ale zapříčinily nárůst koncentrací Mn a Zn v prvním roce a Fe, Mn a Zn v roce druhém. Koncentrace Cu, Ni, Cd a Cr nebyly ovlivněny v obou letech[26].

Z ekonomického i environmentálního hlediska je výhodné využívat čistírenské kaly na půdu, buď přímou aplikací anebo jako hnojivo pro kompostování.

## ZÁVĚR

Čistírenské kaly jsou nedílnou součástí procesu čištění odpadních vod. Vznik tohoto odpadu pro nás nemusí být přítěží, ale alternativním a hlavně obnovitelným zdrojem.

Cílem mé práce bylo nalézt vhodné řešení konečné likvidace čistírenského kalu vznikající na ČOV v Kravařích. Práce má převážně informativní a rešeršní charakter, abych zvýšila své podvědomí o problematice nakládání s čistírenskými kaly. Bakalářská práce je také zpracovaná jako podklad pro diplomovou práci.

Pro kaly z čistírny odpadních vod v Kravařích bych navrhovala konečnou likvidaci v přímé aplikaci na půdu nebo kompostování. Vybrané analyzované vzorky z ČOV Kravaře vyhovovaly ve stanovených ukazatelích limitním požadavkům těžkých kovů dle normy č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (ve znění pozdějších novel). Pro použití kalů na zemědělskou půdu musí být dále upraveny. Na ČOV v Kravařích probíhá zahušťování a odvodňování kalu, ale neprobíhá zde stabilizace ani hygienizace kalu. Tento problém má ale řešení, jelikož kal může být upraven na větší čistíreně odpadních vod nebo přímo před konečnou likvidací.

Kompostování se zdá být nejlepší řešení. Tato metoda je také doposud využívána firmou Marius Pedersen, která tyto kaly z ČOV odváží.

Kompostování může být také přínosem pro město a okolí. Město Kravaře v Moravskoslezském kraji se nachází v zemědělské oblasti a v okolí města a dalších přilehlých oblastí je mnoho zemědělsky obdělávaných polí, na která jsou používána průmyslová hnojiva. Čistírenské kaly by tuto doposud využívanou možnost mohly nahradit a ulevit tak spotřebě průmyslových hnojiv.

Podle mého názoru bychom se měli stále vzdělávat v možnostech využívání čistírenského kalu a hledat tak nejlepší možné řešení aby bylo hlavně přínosem pro životní prostředí i pro nás.

V této práci chci dále pokračovat a rozvinout ji v práci diplomovou. V diplomové práci bych ráda provedla vlastní výzkum a analyzovala rozbory odvodněného kalu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Knižní zdroje

- [1] RACLAVSKÁ, H. Technologie zpracování a využití kalů z ČOV. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1600-5.
- [7] *Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství: Sewage sludge utilization in Agriculture. Sborník referátů z odborného semináře*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2000, 69 s. ISBN 80-238-5333-3.
- [44] SÝKORA, M. Vyhodnocení provozu ČOV Kravaře v roce 2014. Ostrava, 2015.

### Právní předpisy

- [2] Směrnice rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/cz/smernice\\_odpadni\\_vody](http://www.mzp.cz/cz/smernice_odpadni_vody)>.
- [14] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [15] Předpis č. 184/2014 Sb. [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-184>
- [16] Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů). [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-381>
- [17] Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství. [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: [http://www.agroporadenstvi.cz/poradenstvi/CD/data/03/03\\_01\\_SR\\_86\\_278\\_EHS.doc](http://www.agroporadenstvi.cz/poradenstvi/CD/data/03/03_01_SR_86_278_EHS.doc)
- [19] Předpis 27/2015 Sb. *POSLANECKÁ SNĚMOVNA PARLAMENTU ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=27&r=2015>
- [20] Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech

- nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologickými rozložitelnými odpady). [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341>
- [21] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [22] Předpis 150/2010 Sb. *POSLANECKÁ SNĚMOVNA PARLAMENTU ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=27&r=2015>
- [23] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [24] Vyhláška 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (ve znění pozdějších novel). [online]. [cit. 2015-01-23]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-382>

## Internetové zdroje

- [3] DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz*. [online]. 2005-01-05 [cit. 2015-01-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>>. ISSN: 1801-2655.
- [4] KRIŠTOFÍK, Jan. *Hygienizace kalů z čistíren odpadních vod* [online]. Brno, 2006 [cit. 2015-02-02]. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Vítěz. Dostupné z: <http://is.mendelu.cz/zp/index.pl?podrobnosti=16230;lang=cz>
- [5] Statistická ročenka České republiky. Český statistický úřad [online]. [cit. 2015-02-04]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke\\_rocenky\\_ceske\\_republiky/](http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke_rocenky_ceske_republiky/)
- [6] ČERNÝ, Jindřich. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. In: *Biom.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-02-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadu-z-cov-jako-zdroje-organickych-latek-a-zivin>
- [8] CIEŚLIK, Bartłomiej Michał, Jacek NAMIEŚNIK a Piotr KONIECZKA. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2015, vol. 90, s. 1-15 [cit. 2015-02-04]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.031.
- [9] FYTILI, D. a A. ZABANIOTOU. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2008, vol. 12, issue 1, s. 116-140 [cit. 2015-02-04]. DOI: 10.1016/j.rser.2006.05.014.

- [10] ALVARENGA, Paula, Clarisse MOURINHA, Márcia FARTO, Teresa SANTOS, Patrícia PALMA, Joana SENGÓ, Marie-Christine MORAIS a Cristina CUNHA-QUEDA. Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management* [online]. 2015 [cit. 2015-02-05]. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.01.027.
- [11] KLIPOVA, Irina a Kristina MAKARSKIENĚ. Improving material and energy recovery from the sewage sludge and biomass residues. *Waste Management* [online]. 2015, vol. 36, s. 269-276 [cit. 2015-02-05]. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.10.030.
- [12] BŘEZOVÁ, Kateřina. Dobrý den, měla bych dotaz týkající se skládkování... In: *INDUSTRYE.U.CZ* [online]. [cit. 2015-02-05].
- [13] CAO, Yucheng a Artur PAWŁOWSKI. Life cycle assessment of two emerging sewage sludge-to-energy systems: Evaluating energy and greenhouse gas emissions implications. *Bioresource Technology* [online]. 2013, vol. 127, s. 81-91 [cit. 2015-02-05]. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.09.135.
- [18] Kaly z ČOV. Strategie nakládání s čistírenskými kaly. Odpadové fórum. Odborný měsíčník o všem, co souvisí s odpady. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2004, č. 5, 8 – 11. ISSN 1212-7779.
- [25] HANČ, Aleš, Pavel TLUSTOŠ a Jiří SZÁKOVÁ. Změna pohyblivosti kadmia a zinku v čistírenských kalech po jejich úpravě. [online]. 2007, s. 807-810 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007\\_10\\_807-810.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_10_807-810.pdf)
- [26] SINGH, R.P. a M. AGRAWAL. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management* [online]. 2008, vol. 28, issue 2, s. 347-358 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1016/j.wasman.2006.12.010.
- [27] MCBRIDE, M.B. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks?. *Advances in Environmental Research*. [online]. 2003, vol. 8, issue 1, s. 5-19 [cit. 2015-03-13]. DOI: 10.1016/s1093-0191(02)00141-7.
- [28] RICHTER, Rostislav. TĚŽKÉ KOVY V PŮDĚ. In: *ŽIVINNÝ REŽIM PŮD* [online]. Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin, 2004 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/puda\\_tk.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_tk.htm)
- [29] PETRLÍK, Jindřich. Kadmium. In: *ARNIKA* [online]. 2014 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://arnika.org/kadmium>

- [30] Kadmium a jeho sloučeniny (jako Cd). [online]. s. 4 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/repository/latky/kadmium\\_a\\_jeho\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/kadmium_a_jeho_slouceniny.pdf)
- [31] PETRLÍK, Jindřich a Jarmila PŘIBYLOVÁ. Chrom. In: *ARNIKA* [online]. 2014 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://arnika.org/chrom>
- [32] Rtuť a jeho sloučeniny (jako Hg). [online]. s. 8 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni/puda/Rtut\\_a\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/puda/Rtut_a_slouceniny.pdf)
- [33] NAVRÁTIL, Tomáš a Jan ROHOVEC. Rtuť minulost a současnost tekutého kovu. In: *Vesmír* [online]. Vesmír, spol. s r. o., 2014 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://casopis.vesmír.cz/clanek/rtut-minulost-a-soucasnost-tekuteho-kovu>
- [34] Arsen a jeho sloučeniny. [online]. s. 2 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni/ovzdusi/arsen\\_a\\_jeho\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/ovzdusi/arsen_a_jeho_slouceniny.pdf)
- [35] SOUDEK, Petr, Lucie VÍCHOVÁ, Šárka VALENOVÁ, Radka PODLIPNÁ, Jana MALÁ a Tomáš VANĚK. Arsen a jeho příjem rostlinami. [online]. 2005, s. 323-329 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006\\_05\\_323-329.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2006_05_323-329.pdf)
- [36] Olovo a jeho sloučeniny (jako Pb). [online]. s. 5 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/repository/latky/olovo\\_a\\_jeho\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/olovo_a_jeho_slouceniny.pdf)
- [37] Nikl a sloučeniny (jako Ni). [online]. s. 8 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni/puda/Nikl\\_a\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/puda/Nikl_a_slouceniny.pdf)
- [38] ROB, Otakar. Nikl v hlízách velmi raných odrůd brambor. In: *Úroda* [online]. Profi Press s.r.o. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://uroda.cz/nikl-v-hlizach-velmi-ranych-odrud-brambor/>
- [39] RICHTER, Rostislav. Měď v půdě. In: *ŽIVINNÝ REŽIM PŮD* [online]. Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin, 16.01.2007 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/puda\\_cu.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/puda_cu.htm)
- [40] Mikroprvky. In: *YARA* [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.yaraagri.cz/fertilizer/products/nutrients/micronutrients/index.aspx>
- [41] Zinek a sloučeniny (jako Zn). [online]. s. 7 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: [http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody\\_mereni/puda/Zinek\\_a\\_slouceniny.pdf](http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/puda/Zinek_a_slouceniny.pdf)
- [42] HAVEL, Milan, Vít VEBR a Jindřich PETRLÍK. Zinek. In: *ARNIKA* [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://arnika.org/zinek>
- [43] *Město Kravaře* [online]. [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.kravare.cz/>

- [45] Výstavba ČOV Kravaře dokončena. In: *AQUA PROCON: projektová a inženýrská firma* [online]. 2009 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.aquaprocon.cz/article.asp?nArticleID=155&nLanguageID=1>
- [46] KELESSIDIS, Alexandros a Athanasios S. STASINAKIS. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management* [online]. 2012, vol. 32, issue 6, s. 1186-1195 [cit. 2015-04-17]. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.01.012.
- [47] LIN, Hai a Xiaoqian MA. Simulation of co-incineration of sewage sludge with municipal solid waste in a grate furnace incinerator. *Waste Management* [online]. 2012, vol. 32, issue 3, s. 561-567 [cit. 2015-04-18]. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.10.032.
- [48] HORSWELL, J., T.W. SPEIR a A.P. van SCHAIK. Bio-indicators to assess impacts of heavy metals in land-applied sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 2003, vol. 35, issue 11, s. 1501-1505 [cit. 2015-04-16]. DOI: 10.1016/s0038-0717(03)00247-5.
- [49] *Salmonella* spp. In: [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/alimentarni-onemocneni/sal/sal.html>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Území města Kravaře (1:50 000) (zdroj: <a href="http://www.maps.google.cz">www.maps.google.cz</a> , 2015).....	17
Obrázek 2: Čistírna odpadních vod Kravaře (foto: Wranová, 2015).....	19
Obrázek 3: Čistírna odpadních vod Kravaře (červeně) (zdroj: <a href="http://www.seznam.cz">www.seznam.cz</a> , 2015) .....	19
Obrázek 4: Železobetonové nádrže (foto: Wranová, 2015).....	20
Obrázek 5: Odstředivka (foto: Wranová, 2015) .....	21
Obrázek 6: Odstředivka (foto: Wranová, 2015) .....	22
Obrázek 7: Odvodněný kal (foto: Wranová, 2015) .....	22
Obrázek 8: Odvodněný kal (foto: Wranová, 2015) .....	23
Obrázek 9: Odvodněný kal v kontejneru (foto: Wranová, 2015) .....	23



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění[5] .....	4
Tabulka 2: Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg/kg sušiny) .....	11
Tabulka 3: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků v půdě (ukazatele pro hodnocení půd)[24] .....	12
Tabulka 4: Chemický rozbor vzorku 1[44] .....	24
Tabulka 5: Mikrobiologický rozbor vzorku 1[44] .....	25
Tabulka 6: Chemický rozbor vzorku 2 s limitní hodnotou[44] .....	25
Tabulka 7: Chemický rozbor vzorku 2[44] .....	26
Tabulka 8: Mikrobiologický rozbor vzorku 2[44] .....	27
Tabulka 9: Chemický rozbor vzorku 2 s limitní hodnotou[44] .....	27

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Graf výsledků a limitních hodnot vzorku 1 (zdroj: Wranová, 2015) .....	25
Graf 2: Graf výsledků a limitních hodnot vzorku 2 (zdroj: Wranová, 2015) .....	28